

## 超高速無線通信システムの研究

著者	HAO TRAN NGOC
号	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4264号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/61788">http://hdl.handle.net/10097/61788</a>

氏 名	ハオ トラン ゴク
授 与 学 位	HAO TRAN NGOC
学位授与年月日	博士（工学）
学位授与の根拠法規	平成 22 年 3 月 25 日
研究科、専攻の名称	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科（博士課程）電気・通信工学専攻
指 導 教 員	超高速無線通信システムの研究
論文審査委員	指導教員 東北大学教授 坪内 和夫
	主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 安達 文幸
	東北大学教授 高木 直

## 論 文 内 容 要 旨

本論文では、マルチパス環境下で端末の手ぶれ振動によるフェージングがある状態でも広帯域・高信頼通信を実現するため、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスチャネル測定とその通信特性に対する影響を測定・評価した上で、通信方式を提案・実証した。

第 1 章では、今後期待される 60 GHz 帯を用いた近距離・超高速無線通信システムの利用モデルとして、Advanced Kiosk Model を提案した。想定する使用環境は、10m 以内通信、見通し状態で 2Gbps を超える通信速度、ビット誤り率  $10^{-5}$  以下、端末手ぶれ状態があるモデルであった。このモデルを実現するために、指向性アンテナの使用とシングルキャリア(SC)通信方式の使用が望ましいことを論じた。また、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスチャネル測定とその通信特性に対する影響を測定・評価した上で、通信方式の設計手法の確立が必要であることを示した。

第 2 章では、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスの測定・評価について述べている。

まず、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスチャネルを測定するために、PN (Pseudorandom Noise) 系列の相関法を採用した。また、周波数領域等化技術を適用することで広帯域化・高精度化した伝搬特性測定装置を用い、帯域幅 2 GHz でマルチパス測定可能な測定環境を構築した。その装置を用いた実測の結果、60 GHz 帯屋内通信環境においても直接波に対する遅延波相対電力が-10 dB 程度であるパスが存在することを示した。これらの強い遅延波は見通し通信状態でマルチパス干渉を引き起こ

す可能性が非常に高いことが分かった。次に、マルチパスを推定するために、レイトレーシング法を用いた。ただし、パスの相対電力を計算する際に、アンテナの放射パターンと障害物（壁等）の反射ロスについて、実測値を使用した。レイトレーシング法による推定結果を実測結果と比較すると、一致することを確認し、60 GHz 帯におけるマルチパス探索にレイトレーシング法が有効であることを示した。

これらの結果は、マルチパス環境で 60 GHz 帯広帯域通信における通信方式を設計する上できわめて重要である。

第 3 章では、マルチパス環境下で端末手振れ状態での通信特性の測定・評価について述べている。

まず、2 波モデルのマルチパス環境と最大速度 10 m/s で端末が振動することを仮定し、端末の手ぶれ振動による微小位置変化の影響だけを考慮した通信特性の測定・評価を行った。その結果、端末の微小位置変化が mm オーダー、すなわち受信時間差 ms オーダーであっても通信特性の変動が非常に大きくなることを明らかにした。具体的に、遅延波の到来時間がシンボル長より短い場合は、チャンネル周波数特性とともにビット誤り率の変動が大きいのに対し、遅延波の到来時間がシンボル長より長い場合は、チャンネル周波数特性の変動が大きく、ビット誤り率が全体的に劣化した。次に、ドップラー効果の影響も考慮した通信特性の測定・評価を行った。その結果は、ドップラー効果の影響で、通信特性の変動がより高速となることを確認した。

以上の結果は 60 GHz 帯通信における方式設計のために非常に有用な知見である。

第 4 章では、マルチパス環境下で端末手振れ状態を考慮した通信方式の提案・実証をについて述べている。

まず、第 3 章の結果に基づいて、60 GHz 帯広帯域通信にアンテナダイバシチ技術と周波数領域等化技術を組み合わせる使用法を提案した。ここで、超高速通信かつチャンネル変動大であることを重視し、なるべく回路が単純で、高速処理であるように、各アンテナから受信した信号の中から周波数成分ごとに最適信号を選び、最後に周波数領域等化ゼロフォーシングを適用することを論じた。次に、Advanced Kiosk Model の詳細を決めた上で、2Gbps 通信速度を実現するためのデータパケット構成とアンテナダイバシチのためのアンテナの本数・間隔を設計した。その結果、パケット長は 3582 シンボルとなり、プリアンブル部は 126 シンボル、パイロット部は GI (Guard Interval) を含めた 288 シンボル、データ部は 11 個のブロックから構成され、一つブロックが GI を含めた 288 シンボルであった。また、アンテナ 3 本を使用し、3 mm と 6 mm の間隔で配置すべきだと示した。最後に、見通しパスのあるマルチ

パス環境下で端末の手ぶれ振動によるフェージングが存在する状態でも、通信距離 10 m で 2 Gbit/s を超える伝送速度、ビット誤り率  $10^{-5}$  以下を実現できることを示した。

この結果は、60 GHz 帯広帯域通信方式を実用化する上で極めて有用である。

第 5 章では、各章で得られた結果を述べるとともに、今後の展望を示した。

# 論文審査結果の要旨

今後ますます進化するユビキタス社会においては、携帯端末に様々な通信方式が搭載され、利用状況に応じて適切な通信方式へシームレスに切り替えられる環境が実現する。各種通信方式の中で、60 GHz 帯を用いたギガビット級超高速データ通信方式は、その発展が大いに期待される技術である。本論文はマルチパス環境下における広帯域・高信頼通信を目指した 60 GHz 帯無線通信方式の設計手法の確立を目的とする研究をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスチャネルの測定・評価について述べている。周波数領域等化技術を適用することで広帯域化・高精度化した伝搬特性測定装置を用い、帯域幅 2 GHz でマルチパス測定可能な測定環境を構築した。その装置を用いた実測の結果、60 GHz 帯屋内通信環境においても直接波に対する遅延波相対電力が最大 -10 dB 程度であるパスが存在することを示した。また、レイトレーシング法によるマルチパス探索結果が、実測結果と一致することを確認し、60 GHz 帯におけるマルチパス探索にレイトレーシング法が有効であることを示した。これらは、マルチパス環境で 60 GHz 帯広帯域通信における通信方式を設計する上できわめて重要な成果である。

第 3 章では、マルチパス環境下で端末が手ぶれ振動する状態での通信特性の測定・評価について述べている。2 波モデルのマルチパス環境を仮定し、端末の振動による微小位置変化とドップラ効果を考慮した通信特性の測定・評価を行った。その結果、最大速度 10 m/s で端末が振動すると、端末の微小位置変化が 3 mm 程度、すなわち受信時間差 0.3 ms 程度であっても通信特性の変動が非常に大きくなることを明らかにした。この結果は、60 GHz 帯通信における方式設計のために非常に有用な知見である。

第 4 章では、60 GHz 帯広帯域通信方式の設計について述べている。具体的には、見通しパスのあるマルチパス環境下で端末の手ぶれ振動によるフェージングが存在する状態でも、通信距離 10 m で 2 Gbit/s を超える伝送速度を実現できる通信方式の設計を行った。3 mm と 6 mm の間隔で配置されるアンテナ 3 本を用いてそれぞれ受信した信号の中から周波数成分ごとに最適信号を選ぶ選択ダイバーシチ技術と、ゼロフォーシング規範を用いる周波数領域等化技術を組み合わせることで、ビット誤り率  $10^{-5}$  以下を実現できることを示した。この結果は、60 GHz 帯広帯域通信方式を実用化する上で極めて有用であり、高く評価される。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、マルチパス環境下で端末の手ぶれ振動によるフェージングがある状態でも広帯域・高信頼通信を実現するため、60 GHz 帯広帯域通信におけるマルチパスチャネル測定とその通信特性に対する影響を測定・評価した上で、アンテナダイバーシチと周波数領域等化技術とを組み合わせた通信方式を提案・実証したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。